內生菌根菌對柑橘生長之效應

程永雄[1] 莊明富[2] 許淑麗[3]
臺灣省農業試驗所嘉義分所研究員兼分所長[1]、植保系助理[2]及約僱助理[3]

摘 要

自本省八處柑橘園採樣調查內生菌根菌存在情形，顯示所有根系樣品均有不同程度菌根化存在，根域土壤一般以離地表0-15公分感染程度較高，厚膜孢子數亦較多。比較五種菌株 *Glomus aggregatum*、*G. geosporum*、*G. etunicatum*、*G. fasciculatum* 及 *G. mosseae* 對酸橘生長之促進效果，顯示效果以 *G. aggregatum* 最好，但是感染程度與促進生長之間並無正相關。以 *G. aggregatum* 接種於八種柑橘品種，比較內生菌根菌對促進不同柑橘品種之生長是否有差異，結果顯示所有品種均可形成菌根，但生長差距以粗皮檸檬之25.7公分最大，其次爲枳橙(TC)，而枳柚(SPB 4475)生長差距最小爲11.5公分。在有機質添加試驗中，初步顯示內生菌根菌與有機質同時使用，對促進植株生長之效果並無相加作用。不同土壤質地對內生菌根菌之影響，與土壤肥份高低有關，在高肥份土壤，菌根形成率較低，因此柑橘接種或不接種內生菌根菌處理間，植株高度並無差異。

關鍵詞：內生菌根菌、柑橘

前 言

內生菌根菌(Endomycorrhizal fungi)是一種與作物共生的眞菌，且廣泛存在於自然界中。當內生菌根菌感染宿主根系後，形成內生菌根，在菌根中有囊狀體(Vesicle)與叢狀枝(Arbuscule)兩種構造出現，因此內生菌根菌又稱爲囊叢枝菌根菌(Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi)，由於菌根向外形成之外伸菌絲(External hyphae)，可增加宿主根系之吸收面積，增加對不易溶解之礦物元素之吸收，尤其是磷素，因此可促進宿主的生長(4,7,15)。

柑橘在本省是重要的果樹之一，由於受病毒、菌質及根腐病菌之爲害，產量與品質受到嚴重影響，爲挽救此一產業，近年來，無病毒健康苗的推廣即是一項重要措施。利用熱處理或頂梢嫁接培育無病毒健康母株已在推廣中(3)，而培育這些健康無病毒植株，所用之育苗土均經過燻蒸或蒸氣消毒處理，以除去土傳性病原，但Kleinschmidt等人報告指出消毒過之育苗土由於內生菌根菌同時被除去，植株常出現矮化(Stunting)現象(12)，在接種內生菌根菌後植株生長情形相當良好。因此，本研究之目的，在探討內生菌根菌在柑橘上應用之可行性，以使本省推廣無病毒健康柑橘苗之工作，能夠將內生菌根菌之應用納入其中，以供應農友不帶病毒且生長旺盛之健康柑橘苗。

材料與方法

一、供試內生菌根菌之繁殖

供試內生菌根菌菌株有 *Glomus aggregatum* 、 *G. geosporum* 、 *G. etunicatum* 、 *G. fasciculatum* 、 *G. mosseae* 等。所有菌株均以盆栽百喜草保存，再移植百喜草植株於大型塑膠盆繁殖原種，並以空心磚圍成之繁殖圃，以原種菌土接種玉米大量繁殖接種源。菌土是於玉米開花結果後，任其乾枯再砍除地上部，收集運至陰乾場任其乾燥後，每4.5公斤裝一袋，封口後置於4℃冷藏庫保存，以備各項接種之用。

二、供試柑橘品種之培育

供試柑橘品種有酸橘、廣東檸檬、粗皮檸檬、Schaub rough lemon 、枳柚（SPB 4475）、枳橙（TC）、柚、酸橙等。各品種柑橘種子均經1 ％次氯酸鈉表面消毒後剝除種皮，再置於培養皿中，皿內置有濕潤之濾紙，整個培養皿再置於27℃之定溫箱中催芽。菌根與非菌根柑橘培育是將發芽後之種子移入含蛭石之盆缽中，其中一半種子在移入盆缽時同時加入內生菌根菌菌土，接種量為每個種子加5毫升菌土。接種後之植株置於溫室中管理，以供各項比較之用。

三、柑橘園內生菌根菌調查

自本省各柑橘栽培園選擇健康壯碩之植株，每株分別挖取三點，每一點分別取地表15公分與地表下15公分之根圈土，分別混合後帶回實驗室。自根圈土中挑出根系置入100毫升燒杯中，經水洗後倒入10 ％ KOH ，再於高壓殺菌釜透化15分鐘，倒出KOH後以清水漂洗三次，再倒入0.5 ％ Trypan blue 染色4小時後，倒出染液並水洗三次，最後以脫色液脫色一小時後，切取一公分長根段60段置於載玻片上，每個玻片20條根段，並以低倍顯微鏡鏡檢，如根段有囊狀體或叢狀枝構造形成即視已菌根化，計算60段根段中已菌根化之根段百分比即為菌根形成率。挑出根段之根圈土則取100克置於燒杯中，以篩網傾注法分離土中之內生菌根菌厚膜孢子[8]，將留在200mesh篩網上之孢子洗入燒杯中，加水至整個溶液為100毫升，再以定量吸管分別吸取3毫升懸浮液於培養皿中，於解剖顯微鏡下計算孢子數，重覆三次後再換算每百克根圈土所含孢子數量。

四、宿主植物對內生菌根菌產孢效率之比較

為瞭解宿主植物對內生菌根菌產孢數量與產孢時間長短之影響，選擇玉米、百喜草、百香果、營多藤及洋香瓜等作為比較宿主。各種植物之種子首先以1 ％次氯酸鈉表面消毒後，經三次清水漂洗再行催芽。發芽後分別將其移植於塑膠盆中每盆三株，並於移植時分別加入供試菌種各200個厚膜孢子，植株則置於溫室中管理。栽培三個月後取出部份根圈土與根系，分別以篩網傾注法與透化染色，調查厚膜孢子數量與菌根形成率。

五、內生菌根菌厚膜孢子在不同宿主植物根圈土中之變化調查

為獲得可在短時間內產生較多厚膜孢子之宿主植物，經選擇玉米、營多藤、百香果及百喜草等宿主植物，進行內生菌根菌接種並定期取出根圈土調查土壤中之厚膜孢子數量。各宿主植

物之種子經1 %次氯酸鈉表面消毒，再以清水漂洗三次後進行催芽。發芽後之種子移植於大型塑膠盆中，盆中培養土爲河砂：泥炭土 =4：1混合而成，每盆移植三株並同時加入500 個 *Glomus aggregatum* 厚膜孢子，植株置於網室中栽培（溫度28 ± 4 ℃）。培育期間每隔一個月加入5克台肥39號複合肥料（氮素12 %、磷矸18 %、氧化鉀12 %）。移植後2個月每隔5或15日取出盆中根圈土壤，調查厚膜孢子數量與菌根形成率。

六、儲存溫度與菌土含水量對內生菌根菌厚膜孢子存活之影響

爲瞭解內生菌根菌菌土含水量與儲存溫度對厚膜孢子存活之影響，乃進行此一試驗。供試接種源爲每4.5公斤裝之菌土，將此菌土與低溫滅菌河砂混合，以調整厚膜孢子含量爲每克菌土爲300個孢子，並調整菌土含水量爲0.16 %、9.8 %及15 % MHC等，不同含水量菌土分別裝袋密封，且每袋爲4.5公斤。將裝袋後之菌土包分別置於4 ℃與25 ℃之定溫箱中儲存，在儲存0、3、7個月後，再分別取出菌土以篩網傾注法洗出孢子，於解剖顯微鏡下觀察，如孢子內含物完整者則視爲有活力。

七、*Glomus*屬內生菌根菌對酸橘生長促進效果之比較

已培育二個月之供試內生菌根菌與非內生菌根酸橘植株，分別移入黑色塑膠盆中（45x10x10公分），栽培土爲消毒過之土壤：泥炭土：蛭石 =5：2：3混合而成，植株移入時同時每盆再加入100克菌土，植株置於溫室中管理，每隔一個月量取植株高度，至接種後第17週時，取出植株以清水洗去根上土壤，並以衛生紙吸取根系多餘水份後陰乾，再分別量取株高、地上部鮮重、根長、根鮮重，不同處理之植株根系則各切取部份作透化染色，調查菌根形成率。

八、內生菌根菌對不同柑橘品種生長促進效果之比較

爲瞭解單一內生菌根菌菌株對不同柑橘品種之生長促進效果是否具有差異，乃進行此一比較試驗，以作爲田間應用之參考。供試內生菌根菌爲 *Glomus aggregatum*，供試柑橘品種有酸橘、廣東檸檬、粗皮檸檬、Schaub rough lemon、枳柚（SPB 4475）、枳橙（TC）、柚、酸橙等，由方法二培育之各柑橘品種內生菌根與非內生菌根苗各六株，分別移植於黑色塑膠盆（45x10x10公分），栽培土爲消毒過之土壤：泥炭土：蛭石 =5：2：3混合而成，移植時爲菌根苗者再每盆各加入50毫升菌土，移植後植株置於溫室中管理每隔一個月調查株高。

九、土壤添加不同有機質對內生菌根菌促進柑橘生長之影響

爲瞭解柑橘栽培土中加入有機質對內生菌根菌促進柑橘生長是否具有加乘作用，乃進行此一試驗。供試內生菌根與非內生菌根酸橘爲接種三個月之幼苗各六株，供試栽培土爲消毒過之土壤：蛭石 =5：3 混合而成。使用之有機堆肥有牛糞（崙背）、雞糞（甘雨特肥）、木屑（長青）、樹皮（根源）等，上述有機堆肥分別以2 份比例加入栽培土中攪拌均勻，再裝入黑色塑膠盆（45x10x10公分）中，另設不加有機堆肥之處理爲對照。內生菌根與非內生菌根苗則分別移入盆中，並置於溫室中管理，每隔10日以Hoagland's營養液（不含磷之原液稀釋20倍）每株澆灌100毫升，每隔一個月調查植株高度至移植後第8個月爲止。

十、土壤質地對內生菌根菌促進柑橘生長之影響

為瞭解土壤質地對內生菌根菌感染與菌根形成之影響，分別自古坑、後龍採集三種土壤，經土壤理化分析分別為砂質土、砂質壤土及壤土。所有土壤均以70℃消毒30分鐘，並放置1個月後再分別裝入長條形塑膠盆中。培育一個月後之酸橘苗分別移入盆中，每盆各21株柑橘苗，每種土壤質地各2盆，其中一盆則在移入時加入200毫升 *Glomus aggregatum* 菌土，所有植株置於溫室中管理，每隔一個月各處理分別取出三株植株，調查其株高與菌根形成率。

結　　果

一、本省柑橘園內生菌根菌發生情形

自台南縣、嘉義縣、花蓮縣、台東縣等八處柑橘園採集之柑橘根圈土，經調查根系菌根化程度，顯示所有樣品均有菌根形成，惟菌根程度差異甚大，一般在離地表15公分內之根系菌根化程度較高，菌根化程度最高可達87.5％，離地表15公分以下之根系則菌根化較低，但不同地點之結果亦有差異（表1），其原因可能與土壤條件或柑橘種植時間長短不同有關。厚膜孢子數量的多寡與菌根化程度情形類似，離地表15公分內之根圈土，厚膜孢子數一般較多，最高達每100毫升土含1,226個孢子，但是菌根化程度與厚膜孢子多寡並無正相關性，採樣時間可能影響此一結果，另一原因是所分離之厚膜孢子可能有部份是由柑橘園之雜草所產生。

二、宿主植物對內生菌根菌繁殖效率之比較

供試之五種內生菌根菌繁殖宿主玉米、百喜草、百香果、營多藤與洋香瓜，經接種後三個月分別調查菌根形成率與厚膜孢子數，顯示不同內生菌根菌菌株在玉米、百香果及洋香瓜三種宿主，菌根化程度較高。依宿主產孢數量來比較，*G. aggregatum*、*G. etunicatum* 及 *G. mosseae* 以營多藤產孢數最高，分別為2567、2878及3200個，*G. geosporum* 以洋香瓜之1567 個最高，*G. fasciculatum* 則以玉米之3,689個最高（表2）。由此一結果可知如要在短時間內，生產高厚膜孢子之菌土，對不同內生菌根菌菌株需選擇其合適之繁殖宿主。

三、內生菌根菌厚膜孢子在不同宿主植物根圈土中之變化

內生菌根菌 *G. aggregatum* 在四種宿主植物玉米、營多藤、百香果及洋香瓜產孢有遲早之差異。產孢最早之繁殖宿主為玉米，在接種後第75日每100毫升土中即有約2000個孢子，其餘三種宿主則尚未發現有孢子產生，至接種後第85日，營多藤之根圈亦發現有孢子存在。由圖一之孢子數量與接種時間可知，以玉米為繁殖宿主，產孢最高峰在接種後95日出現，每100毫升土含8244個孢子，營多藤出現之產孢高峰在接種後第125日，每100毫升土含10656個孢子。

四、儲存溫度與菌土含水量對內生菌根菌厚膜孢子存活之影響

內生菌根菌目前仍以盆栽適當宿主繁殖，經由收集宿主根圈土作為接種源，為有效保存接種源，對於影響菌土中厚膜孢子存活之儲存條件須加以探討。由表三之結果可知，在4℃低含水量（0.16％MHC）下，有利厚膜孢子之存活，儲存3與7個月後，厚膜孢子存活百分比分

別有94.7與93.5，但在菌土含水量爲15 % MHC時，儲存3個月後厚膜孢子存活率爲57.5 %，儲存7個月後降至44.3 %。相同含水量之菌土，4 ℃之儲存溫度較25 ℃之儲存溫度，更有利於孢子之存活，可能在低溫與低濕度時，減低菌土中孢子之代謝與其他微生物之活動，因此有利於孢子之存活。

五、*Glomus*屬內生菌根菌對酸橘生長促進效果之比較

在供試五種 *Glomus* 屬菌種中，接種後第17週調查株高，顯示 *G. aggregatum* 、*G. geosporum* 及 *G. etunicatum* 均較未接種之對照組爲高，其株高分別爲42.8、40.9及36.1公分，而對照組僅有30.7公分，另二種菌株 *G. fasciculatum* 與 *G. mosseae*，則反較未接種之對照爲矮，惟差距並不顯著。地上部之鮮重結果與株高類似。在地下部鮮重方面，接種內生菌根菌之植株均較未接種者爲重，但差距較顯著者，仍屬接種 *G. aggregatum* 、*G. geosporum* 及 *G. etunicatum* 之植株，鮮重分別爲2.1、3.2及2.0公克。比較菌根形成率與植株生長情形，並無正相關性，但其中 *G. geosporum* 、*G. etunicatum* 及 *G. mosseae* 感染酸橘並形成菌根之程度較高，分別爲44.6 %、47.9 %及38.8 %。

六、內生菌根菌對不同柑橘品種生長促進效果之比較

在比較之八種柑橘品種，接種內生菌根菌者均較未接種者爲高，但是由接種與未接種之植株生長差距比較，顯示內生菌根菌促進生長的效果，以粗皮檸檬、枳橙（TC）最好，其生長差距分別爲25.7與23.8公分，其次爲酸橘、Schaub rough lemon及酸橙之19.8、19.5及17.5公分，再其次爲柚、廣東檸檬及枳柚（SPB 4475）之13.8、12.6及11.5公分（表5）。由此一結果推論，單一內生菌根菌可同時應用於不同之柑橘品種，但爲使其效果更佳似可分別針對不同柑橘品種，進行菌株的篩選，惟此種方式可能較耗費時間與人力。

七、土壤添加不同有機質對內生菌根菌促進柑橘生長之影響

內生菌根酸橘苗移入分別含牛糞、豬糞、樹皮及木削堆肥之培養土8個月後，比較生長差距，以牛糞之72.8公分或豬糞之69.4公分較未加入有機質處理之66公分爲高，其餘樹皮、木削兩種處理增加之高度分別57.2及60.3公分，反較未加有機質之處理爲矮。比較非內生菌根柑橘苗在含牛糞、豬糞、樹皮及木削堆肥之培養土，生長差距分別爲57、62、42.4及43.1公分均較未加有機質處理之36.1公分爲高，其中以豬糞堆肥對非內生菌根酸橘生長較好，其次爲牛糞堆肥（表6）。如以不接種內生菌根菌不加有機質處理增加之高度36.1爲基礎，內生菌根菌分別配合牛糞、豬糞、樹皮及木削其增加之高度，較前者分別高出36.7、33.3、21.1及24.2公分，單獨使用內生菌根菌則較前者高29.9公分，單獨使用牛糞、豬糞、樹皮或木削則分別較前者高20.9、25.9、6.3及7公分，由此一結果分析，單獨使用內生菌根菌效果比單獨使用有機堆肥效果爲佳，如內生菌根菌配合有機堆肥使用，則僅牛糞或豬糞堆肥之處理效果較單獨接種內生菌根菌之效果爲佳，但是效果並無明顯相加作用。

八、土壤質地對內生菌根菌促進柑橘生長之影響

砂質土、砂質壤土及壤土對內生菌根菌感染酸橘，以砂質土最好，感染率在接種後4個月

達67.2 ％，其次爲砂質壤土之18.3 ％，感染程度最低爲壤土之12.2 ％。但是由各土質之化學分析顯示，壤土之有效氮、磷、鉀含量最高，其次爲砂質壤土，砂質土則是肥份最低，因此感染率高低可能與土壤肥份高低有關而非與土壤質地不同有關。比較在不同土壤質地，接種與不接種內生菌根菌酸橘生長之高度，顯示在砂質土接種內生菌根菌之酸橘高度最高，其次爲栽植於壤土之不接種酸橘，再其次爲接種內生菌根菌並栽植於壤土之酸橘，由此一結果與感染率高低顯示，在高肥份土壤下不利於內生菌根菌表現效應，因此接種或不接種內生菌根菌並不會有很大差異，但是在低肥份土壤如砂質土，內生菌根菌即可發揮促進作物生長之效果（表7）。

結　　論

一般依植物對菌根菌之依賴程度歸類，柑橘乃是屬於非絕對菌根植物（Facultatively mycorrhizal plants），在某些土壤條件下如高肥份土壤，無法表現內生菌根菌促進柑橘生長之效果，其原因可能是肥分高影響菌根菌之感染、生長及繁殖[11]，而此一影響可能與柑橘在田間感染程度差異甚大有關；由表七之結果可知，在高肥份之壤土下，接種內生菌根菌之酸橘與不接種者高度並無差別，但在低肥份之砂質土則接種與不接種間，植株高度即有明顯差異，而其中比較有趣的現象是在低肥份之砂質土，接種內生菌根菌之植株，株高較在高肥份壤土之未接種植株爲高，由此一現象可以得知，內生菌根菌在柑橘上之應用仍有其價值。

內生菌根菌接種源生產目前仍只能依賴傳統盆栽法[14]，其他生產接種源方式有氣霧耕法（Aeroponic culture）、Root organ culture等方式，這些繁殖方式之研究，目前在國內已有王氏[1]利用氣霧耕成功繁殖 *Glomus etunicatum* 與 *G. fasciculatum*，每1公分根段分別可產生26與24個孢子，而呂氏等人[2]利用轉型根與番茄根雙相培養成功繁殖 *Gigaspora gigan tea*，但是上述方式均與接種源大量生產之目標仍有一段距離，因此改進目前盆栽繁殖方法，提高土壤厚膜孢子數量，仍是本分所接種源生產主要研究方向。內生菌根菌接種源生產主要是提供於洋香瓜之示範接種上，由於推廣面積甚大，加上許多農民聞訊自動索取，使得接種源生產工作幾乎全年在進行，但限於場地人手有限，因此需朝提高土壤接種源密度，並藉由稀釋方式加以使用，而又不影響接種成功之方向改進。宿主種類可影響內生菌根菌孢子之產生[18]，而產孢高峰一般在宿主乾重量最大時[17]。由表2、圖1可知，依菌種不同需選擇合適之繁殖宿主，一定期間後即可得到高密度之菌土。較常採用作爲繁殖宿主，有百喜草、玉米、蘇丹草、地中海苜蓿或大豆等，*Acaulospora*、*Glomus* 屬之菌種大多均能使用，但是如 *Entrophospora*、*Gigaspora*、*Sclerocystis* 及 *Scutellispora* 等屬之菌種可能並不適用，而多數文獻中常用前述兩屬之菌種，其原因可能即是前者可用之宿主較多。由於生產菌種需要3－4個月的時間，顯示接種源的獲得是相當不易的，如何有效保存菌土，亦是相當重要的工作。由表三結果可知，菌土含水量在0.16 ％ MHC、4℃之低溫保存7個月，厚膜孢子仍有93.5 ％具有活性，因此本分所之菌土目前多採用大型低溫冷藏庫儲存。

本研究初始使用之菌種，大多非由柑橘根圈土所分離而得，但這些菌種經篩選過程，顯示均能感染酸橘，感染程度則差異甚大，對酸橘生長之促進效果亦有差異（表4），但是菌根形成率高低與酸橘株高並無正相關性。Graham等人[9]之報告亦顯示，內生菌根菌促進作物生長之效果與菌根化程度無關，與外伸菌絲（External hyphae）量之多寡較有關係。其後陸續自柑橘園或其他植物分離並繁殖之菌株，不斷進行接種比較，結果自柑橘園分離而得之菌株，

對促進酸橘生長之效果最好，初步推測其原因可能即與外伸菌絲量較高有關。內生菌根菌對不同柑橘品種之生長促進效果亦有差異，由表五之結果顯示，雖然接種者均較未接種者爲高，但是接種與未接種者間之生長差距，以粗皮檸檬、枳橙（TC）、酸橘、Schaub 粗檸檬及酸橙最大，柚、廣東檸檬及枳柚（4475）則差距較小，張氏[5]之報告亦有類似之結果。一般柑橘苗木培育階段，所用之育苗土，大多使用非土介質（Soilless medium），並混合有機物質，而介質對內生菌根菌之影響目前較爲清楚，主要與介質中可萃取之磷有關，磷含量高則生長效應減低[6,10]；有機物質的影響則尚未完全明瞭，但其與生長效應亦呈負相關[16]，此種情形或可解釋表六中添加樹皮或木削堆肥之處理，較單獨接種內生菌根菌之植株爲矮之原因，但有機物質對內生菌根菌之影響，可能非常複雜包括直接與間接的作用，根圈微生物相之變化即是其一[13]，但詳細作用仍有待更進一步之探討。

表 1. 本省柑橘園內生菌根菌發生情形

Table 1. Distribution of VAM fungi in citrus orchard in Taiwan

採集地點 Locations	菌根形成率（%）[1] Percent of VAM		孢子數（個 / 100 ml 土壤）[2] Chlamydospores / 100 ml soil	
	0 – 15 cm	>15 cm	0 – 15 cm	>15 cm
觸口 1	35	27.5	1166	84
觸口 2	43.3	30	600	26
菜公店 1	35	43.8	280	186
菜公店 2	87.5	62.5	96	46
竹崎 1	72.5	57.5	110	32
竹崎 2	87.5	32.5	1226	56
竹崎 3	32.5	32.5	260	96
竹崎 4	55	89	166	86
池上	13.3	18.3	74	20
瑞穗 1	25	13.3	360	140
瑞穗 2	60	18.3	40	6
壽豐	33.3	28.3	494	46
楠西 1	33.3	26.7	74	46
楠西 2	40	46.7	126	226
番路	38.3	43.3	266	146

1. 土表 0 – 15 公分與 15 公分以下之柑橘根系。Root samples in the depths of 0 – 15cm or more 15cm.
2. 土表 0 – 15 公分與 15 公分以下之根圈土壤。Soil samples in the depths of 0 – 15cm or more 15cm.

表2. 五種宿主植物繁殖內生菌根菌之比較

Table 2. Effects of host plants on propagation of VAM fungi

宿　主 Hosts	菌根形成率（％） Percent of VAM					厚膜孢子數 / 100ml土壤 Chlamydospores / 100 ml soil				
	Ga[2]	Gg	Ge	Gf	Gm	Ga	Gg	Ge	Gf	Gm
玉　米	90	100	68	92	92	2067	478	1944	3689	2533
營多藤	93	68	53	57	42	2567	67	2878	1433	3200
百香果	100	73	97	88	93	2300	133	2033	322	578
百喜草	0	88	47	38	85	0	589	656	78	133
洋香瓜	95	97	92	95	45	2278	1567	1656	1944	2589

1. 表列數字為接種內生菌根菌三個月後三重覆之平均值。Value is the mean of 3 replicates at 3 months after inoculation.
2. 供試菌種Ga：*Glomus aggregatum*、Gg：*Glomus geosporum*、Ge：*Glomus etunicatum*、Gf：*Glomus fasciculatum*、Gm：*Glomus mossese*。

表3. 儲存溫度與菌土含水量對內生菌根菌厚膜孢子存活之影響

Table 3. Effects of storage temperature and soil moisture on the survival of chlamydospores of VAM fungi

菌土含水量 Soil moisture	厚膜孢子存活率（％）[1]　％ of survival				
	O[2]	4℃		25℃	
		3	7	3	7
15％ MHC	95.4	57.5	44.3	55.3	38.2
9.8％ MHC	94.8	58.0	43.0	36.8	53.7
0.16％ MHC	95.1	94.7	93.5	79.8	70.7

1. 菌土以篩網傾注法分離出厚膜孢子，於解剖顯微鏡下觀察，如孢子內容物完整者則視為有活性。
2. 數字表示儲存前及各儲存3與7個月後之結果。

表 4.*Glomus* 屬不同內生菌根菌對酸橘生長之比較

Table 4. Growth response of sunki inoculated with different species of *Glomus*

菌種 Species	地上部 Top growth		地下部 Root growth		菌根形成率 percent of VAM (%)
	株高 Height (公分) (cm)	鮮重 Fresh wt. (公克) (g)	根長 Length (公分) (cm)	鮮重 Fresh wt. (公克) (g)	
G. aggregatum	42.8*	7.0	38.1	2.1	11.7
G. geosporum	40.9	7.2	39.4	3.2	44.6
G. etunicatum	36.1	5.6	42.8	2.0	47.9
G. fasciculatum	29.8	3.7	36.9	1.4	1.3
G. mosseae	30.5	4.5	37.6	1.6	38.8
CK	30.7	4.3	36.3	1.3	0

* 表列數字代表四重覆之平均值。Value is the mean of 4 replicates.

表 5. 內生菌根菌對不同柑橘品種生長促進效果之比較

Table 5. Growth response of different citrus species inoculated with VAM fungi

柑橘品種 Species	株高(公分)* Height (cm)		生長差距(公分) (I)-(N) (cm)
	接種 Inoculated (I)	未接種 Non-inoculated (N)	
Sunki	42.1	22.3	19.8
Sour orange	37.8	20.3	17.5
Citrumelo 4475	45.8	34.3	11.5
Troyer citrange	53.4	29.6	23.8
Pummelo	34.6	20.8	13.8
Schaub rough lemon	47.4	27.9	19.5
Rough lemon	50.0	24.3	25.7
Rangpur lime	48.4	35.8	12.6

* 表列數字爲生長八個月之六株植株高度平均值。Value is the mean of 6 replicates at 8 months after inoculation.

表6. 土壤添加不同有機質對內生菌根菌促進柑橘生長之影響

Table 6. Effects of organic matters on the growth of mycorrhizal and non-mycorrhizal citrus plants

有機質[1] Organic matters	株高（公分） Height (cm)			
	內生菌根植株		非內生菌根植株	
	0[2]	8	0	8
牛糞堆肥	11.6	84.4	9.2	66.2
豬糞堆肥	11.8	81.2	8.4	70.4
樹皮堆肥	8.8	66.0	6.8	49.2
木屑堆肥	13.7	74.0	8.9	52.0
對　照	12.0	78.0	8.7	44.8

1. 有機質添加量為20%。 Amended volumn of organic matters is 20%.
2. 數字0表示酸橘經接種或未接種內生菌根菌三個月後，在分別移植時所調查之株高，8表示移植後8個月調查之株高。 0 and 8 represented months after transplanting.

表7. 不同土壤質地對內生菌根菌促進酸橘生長之影響

Table 7. Effects of soil textures on the growth of mycorrhizal and non-mycorrhizal sunki plants

土壤質地 Soil textures	酸鹼值 pH	全氮 Total nitrogen (ppm)	有效磷 Effective phosphate (ppm)	有效鉀 Effective potassium (ppm)	株高（公分）[1] Height (cm)		菌根形成率（%）[2] percent of VAM	
					接種	未接種	接種	未接種
砂質土 Sandy soil	6.2	90	2.2	33.4	21.6	5.6	67.2	0
砂質壤土 Sandy loam	4.1	600	14.8	54.5	11.4	5.5	18.3	0
壤土 Loam	3.9	1700	223.1	155.8	19.2	20.2	12.2	0

1與2：酸橘接種內生菌根菌四個月後各3株之平均值。

1 and 2: Value is the mean of 3 replicates at 4 months after inoculation.

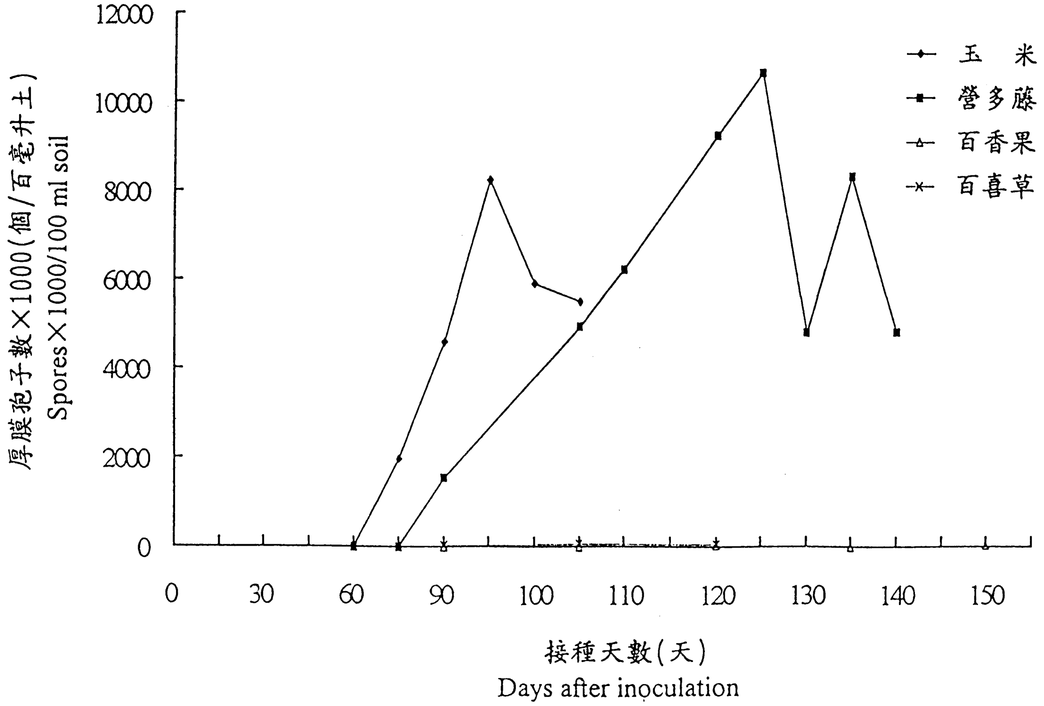

圖 1. 內生菌根菌 *Glomus aggregatum* 在四種宿主植物上繁殖，土壤中厚膜孢子數之變化

Fig. 1. Chlamydospores dynamics of *Glomus aggregatum* in rhizosphere of 4 host plants.

參考文獻

1. 王均琍。1994。本土化氣霧耕量產菌根接種源。臺灣省農業試驗所特刊第 44 號。p.165－172。

2. 呂斯文、連瑞娣、張喜寧。1994。利用胡蘿蔔 Ri T－DNA 轉型根及番茄根雙相培養繁殖囊叢枝菌根菌 *Gigaspora gigantea* 及 *Glomus mosseae* 孢子。臺大農學院研究報告 34:21－32。

3. 施明山。黃美華。1988。柑橘健康苗繁殖推廣現況。臺灣省農業試驗所特刊第 27 號。p.98 －102。

4. 程永雄。1984。內生菌根菌之形成及其對大豆、玉米、蘆筍及西瓜生長之效應。國立中興大學博士論文。175 頁。

5. 張喜寧。1984。三種繡球屬內生菌根菌對柑橘根砧生長之影響。國科會專題研究年終報告 13 頁。

6. 黃瑞祥。1979。不同混合介質對廣東檸檬盆栽苗木生長之影響－觀察菌根菌與柑橘根部之共生現象。臺灣大學園藝研究所碩士論文。75 頁。

7. Gerdemann, J. W. 1968. Vesicular－arbuscular mycorrhiza and plant growth. Ann. Rev. Phytopathol. 6:397－418.

8. Gerdemann, J. W., and T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc. 46:235－244.

9. Graham, J. H., R. G. Linderman, and J. A. Menge. 1982. Development of external hyphal by different isolates of mycorrhizal *Glomus* spp. in relation to root colonization and growth of troyer citrange. New Phytol. 91:183 – 189.
10. Graham, J. H., and L. W. Timmer. 1984. Vesicular – arbuscular mycorrhizal develop – ment and growth response of rough lemon in soil and soilless media: Effect of phospho – rus source. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109:118 – 121.
11. Hayman, D. S. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi. Phytopathology 72:1119 – 1125.
12. Kleinschmidt, G. D., and J. W. Gerdemann. 1972. Stunting of citrus seedlings in fumi – gated nursery soils related to the absence of endomycorrhizae. Phytopathology 62:1447 – 1453.
13. Linderman, R. G. 1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: The mycorrhizosphere effect. Phytopathology 78:366 – 371.
14. Menge, J. A. 1984. Inoculum production. Pages 187 – 203 In: VA mycorrhiza, C. L. Powell and D. J. Bagyaraj. eds. CRC Press, Boca Raton, FL. 234pp.
15. Menge, J. A. 1983. Utilization of vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi in agricul – ture. Can. J. Bot. 61:1015 – 1024.
16. Menge, J. A., H. Lembright, and E. L. V. Johnson. 1977. Utilization of mycorrhizal fungi in citrus nurseries. Proc. Int. Soc. Citric 1:129.
17. Simpson, D., and M. J. Daft. 1990. Spore production and mycorrhizal development in various tropical crop hosts infected with *Glomus clarum*. Plant and Soil 121:171 – 178.
18. Struble, J. E., and H. D. Skipper. 1988. Vesicular – arbuscular mycorrhizal fungal spore production as influenced by plant species. Plant and Soil 109:277 – 280.

討　論

陸之琳顧問：

二十年來菌根菌的利用進步到這樣地步，個人非常高興，Mycorriza最初在森林中使用，現在已能用在蔬菜上，是很大的突破。另外，希望將Mycorriza商品化，在精緻農業上使用，減少農藥、化學肥料的使用，而採用生物性肥料，提高品質，讓大家安心食用。菌根菌二十年來這麼進步突破，值得高興，希望可能讓農民知道使用。

杜金池所長：

個人贊同陸顧問的看法。剛才報告中提到本人的試驗構想包括綜合接種。為什麼要做綜合菌種？因為柑橘園的土壤類型很多，不同菌種在不同的土壤裡，它的表現是不同的，不能僅以某一種類（species）的菌根菌來代表它們作用的結果，所以我要他們調整研究方向做綜合菌種。並且鼓勵用溶磷菌及固氮菌混合接種，將來或可以達到共生利用，以促進作物的生長。另外，「微生物肥料」一詞，常遭誤用，行政院科技顧問組已討論過，在使用上或科學報告上不要強調微生物肥料。微生物本身不是肥料，它是共生菌，它將土壤中不可利用態的磷，轉變為

可利用態，並且菌根長出來，表面積的增加可幫助水份吸收，對根表面的病原菌可產生拮抗作用，病害的發生因而減少。

台大鄭正勇教授：

綜合「柑橘土壤與營養」三節所做的結論，栽培者應選用健康的柑橘苗木，植穴施用適當的根菌，並有良好的栽培管理方法，施肥前先進行土壤及植體分析，再根據推薦表，做最好的肥料補充。作物的根是算長度，最有作用的一段是根尖部份，所以根要繼續不斷的生長，才能繼續不斷的吸收平衡的養分。因此，在適當的時候，斷根加上很好的有機質，能促使產生很多新根，有葉片時（夏季）斷根容易促進根的生長，在冬季，當根貯蓄很多養分時，不宜斷根。在晚崙西亞（施用有機質）的試驗，表面看不出顯著的效果，實際上還有維持土壤pH值以及其他沒有立刻顯現的效果。至於番荔枝施用有機質肥料的試驗，就明顯表現出它的效果。

Growth Promotion of Citrus Inoculated With Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi

Y. H. Cheng, M. F. Chuang and S. L. Hsu
Chiayi Agricultural Experiment Station, TARI

Summary

Soil samples from 8 citrus orchard in Taiwan were collected to investigate the mycorrhizal ratio of citrus in native, results indicated that all root samples formed mycorrhiza in ratio, and high mycorrhizal formation and chlamydospores commonly presenced in the depths of 0-15 cm rhizospheral soil from soil level. Comparison of growth promotion of sunki seedlings inoculated with five VAM fungi, *Glomus aggregatum, G. geosporum, G. etunicatum, G. fasciculatum* and *G. mosseae*, seedlings inoculated with *G. aggregatum* grew better than those inoculated with other four VAM fungi, but mycorrhizal colonization was not correlated with growth response of sunki. Difference of growth response of eight varieties of citrus rootstock inoculated with *G. aggregatum* was tested in greenhouse, results indicated that roots of all varieties of citrus rootstock were colonized by *G. aggregatum* , but the plant height of inoculated rough lemon seedlings compared to non-inoculated ones increased 25.7cm, followed by 23.8cm of Troyer citrange(TC), the plant height of inoculated citrumelo(SPB 4475) seedlings compared to non-inoculated ones increased only 11.5cm was the lowest. Effects of soil texture on mycorrhizal formation of sunki seedlings were tested, mycorrhizal formation of sunki seedlings planted in sandy soil was the highest, followed by those planted in sandy loam, those planted in loam was the lowest, soil fertility level might be the causal factor, thereby the plant height between inoculated and non-inoculated sunki seedlings planted in loam were not different.

Key words: Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, Citrus